1C

УДК 681.3: 519.9

В.В. Сторож
Донецкий национальный технический университет, Украина
Украина, 83050, г. Донецк, пр. Богдана Хмельницкого, 84

Мозг и искусственные нейросети

V.V. Storozh
Donetsk National Technical University, Ukraine
Ukraine, 83050, c. Donetsk, Bogdana Khmelnitskogo av., 84

Brain and Artificial Neural Networks

В.В. Сторож
Донецький національний технічний університет, Україна
Україна, 83050, м. Донецьк, пр. Богдана Хмельницького, 84

Мозок та штучні нейромережі

В статье обосновано положение о том, что при моделировании высокоуровневых процессов мозга с помощью нейросетей нельзя проводить декомпозицию по оси нейрофизиологическое-психическое. Показано, что с учетом этого положения при моделировании высокоуровневых процессов необходимо согласованное изменение структуры нейросети.
Ключевые слова: высокоуровневые процессы мозга, нейросети, моделирование.

In article principle that at modeling high-level processes of a brain with the help neural networks it is impossible to spend decomposition on an axis neurophysiologic-mental is proved. It is shown that taking into account this position at modeling high-level processes the co-ordinated change of structure neural network is necessary.
Key words: high-level processes of a brain, neural network, modeling.

У статті обґрунтовано положення про те, що при моделюванні високорівневих процесів мозку за допомогою нейромереж не можна проводити декомпозицію по осі нейрофізіологічне-психічне. Показано, що з урахуванням цього положення при моделюванні високорівневих процесів потрібна погоджена зміна структури нейромережі.
Ключові слова: вискорівневі процеси мозку, нейромережі, моделювання.

Введение

В последние десятилетия появился и бурно развивается такой мощный метод анализа информации, как искусственные нейронные сети (или просто нейросети). Специалисты по искусственному интеллекту декларируют, хотя и бегло, с оговорками, сходство работы человеческого мозга и искусственных нейросетей (напр., [1, с. 32]).

Но возникает естественный вопрос: насколько велико это сходство, какие ограничения имеются у искусственных нейросетей по сравнению с мозгом, чем они вызваны, и как преодолеть эти ограничения?

В предыдущей работе автора [2] показаны принципиальные отличия работы мозга от искусственных нейросетей на уровне синапсов.

Целью данной работы является рассмотрение принципиальных отличий работы мозга от нейросетей на уровне нервных процессов и на этой основе определение наиболее актуальных направлений исследований в области нейросетей.

Некоторые принципы строения мозга

К общим элементам организации нейросетей и мозга относятся нейроны, синапсы, слои нейронов и различного рода модули нейронов. Для большей наглядности дальнейших рассуждений представим, как развивался процесс образования и взаимодействия этих элементов в процессе эволюции живых организмов.

Таблица 1 – Развитие процесса образования и взаимодействия элементов мозга и нейросетей

Тип живого существа	Количество нейронов	Общее количество синапсов	Количество синапсов на нейрон	Ссылка
Червь Caenorhabditis elegans	302	≈ 5000	≈ 16	[3]
Муха (дрозофила)	10^5	$\approx 10^7$	10^2	[4]
Пчела медоносная	$\approx 10^6$	$\approx 10^9$	10^3	[5]
Мышь	$7.5*10^7$	$\approx 10^{11}$	$10^3 \div 10^4$	[6]
Человек	$8.5*10^{10}$	$\approx 10^{15}$	$\approx 10^4$	[7]

Приведенные в табл. 1 данные иллюстрируют тот факт, что в процессе эволюции растет не только количество нейронов в мозгу, но и количество синапсов, приходящихся на один нейрон. В частности, у человека количество синапсов на нейрон в лобной (префронтальной) части коры головного мозга составляет примерно $3*10^4$ [7], [8]. Очевидно, что закономерное и существенное увеличение количества синапсов на нейрон в процессе эволюции вызвано какими-то вескими причинами, а именно: изменением структуры обработки информации по сравнению с простейшими живыми существами и искусственными нейросетями. Но в чем состоит это изменение структуры обработки информации? Специалисты по нейросетям этот вопрос игнорируют, вследствие чего создаваемые ними нейросети в лучшем случае используют принципы работы простейших живых существ, типа червей. О каком моделировании и тем более дублировании работы человеческого мозга можно в этом случае говорить?

Организация взаимодействия нейронов в процессе эволюции также эволюционировала. Вначале это неупорядоченные скопления нейронов у простых существ, в частности, червей [3]. У насекомых образуются специализированные нервные ядра из нейронов [5]. У рептилий и более развитых животных уже как минимум часть мозга организована в виде коры, то есть послойно. У рептилий кора состоит из трех слоев [9], у млекопитающих, включая и человека, она увеличивается до шести слоев [8], [9]. Отметим, что слой коры головного мозга и слой искусственных нейросетей – это существенно различные вещи. Если в случае нейросетей мы говорим об одном слое искусственных нейронов, то в случае коры мозга речь идет о гистологически однородных слоях, каждый из которых (за исключением первого) может содержать в толщину до десяти и более нейронов, причем эти нейроны взаимодействуют между собой не послойно, а скорее образуют кластеры во всех трех измерениях. В настоящее время нейрофизиологи и специалисты по моделированию мозга интенсивно изучают эти кластеры, называемые «малыми мирами» (small world) [11, p.101]. Таким образом, кора головного мозга человека существенно отличается от искусственных нейросетей, – в толщину она содержит на порядок больше нейронов, чем искусственные нейросети, сами нейроны организованы сложным образом, а значительная часть взаимодействий происходит внутри слоев.

Экспериментально показано, что кора головного мозга не является однородной и в горизонтальном направлении – в ней выделяется как минимум два иерархических уровня организации [10]:

– модули или колонки с характерными размерами в сотни мкм. В частности, для зрительной коры показано, что такие колонки обрабатывают информацию относительно сложных признаков зрительной сцены;

– поля коры головного мозга. Они намного крупнее колонок и их характерные размеры – десятки квадратных сантиметров. Каждое поле отвечает за обработку информации определенного типа и на определенном уровне. Разными исследователями выделяется от примерно 50-и до двухсот полей коры головного мозга.

Таким образом, мозг – это не просто нейросеть, – это иерархическая организация большого количества нейросетей различных типов.

Процессы в искусственных нейросетях и в мозгу

Рассмотренные выше различия в структуре мозга и искусственных нейросетей, вообще говоря, не являются показательными, поскольку инструментом и результатом их работы являются процессы. Поэтому рассмотрим специфику процессов при работе нейросетей и мозга, и каким образом структура влияет на эти процессы.

Для искусственных нейросетей характерно использование простых информационных единиц типа битов, векторов, массивов и т.п. Под простотой понимается также то, что информационные единицы не отождествляются со словами или выражениями языков высокого уровня (проще говоря, человеческими), а также с объектами и ситуациями внешнего мира. Такого рода объекты могут во входных слоях нейросети быть представлены лишь косвенно или неявно, в виде совокупности процессов, использующих простые информационные единицы. Как правило, в выходном слое нейросети представлена информация более высокого уровня интеграции, которой уже могут быть сопоставлены элементы языка или объекты и закономерности внешнего мира. По этой причине принято считать, что нейросети используют для генерации интеллектуальных свойств подход снизу-вверх (bottom-up) [11, p. 131]. Взаимодействующие сложные процессы как некоторые самостоятельные сущности, представляющие человеческий язык или внешний мир, в искусственных нейросетях не используются. (Прим.: тем не менее, отметим, что идеология одиночных сложных устойчивых процессов типа аттракторов используется и в нейросетях (напр., [1, гл. 14])).

Для работы мозга характерно использование, наряду с простыми информационными единицами, систем взаимодействующих сложных информационных процессов. На уровне сознания мы, как правило, связываем эти представления с человеческим языком и объектами и ситуациями мира. Наличие относительно устойчивых состояний в мозгу показано и экспериментально с помощью целого ряда методик. Чаще всего эти состояния в экспериментах связываются не с отдельными словами или объектами, а более крупными процессами типа мыслительных операций, эмоциональных реакций и т.п. [12].

Научное сообщество предпринимает значительные усилия для того, чтобы понять и воспроизвести природу высокоуровневых процессов в мозгу человека и животных. Понимание реализуется с помощью разработки моделей работы мозга, а воспроизведение (процессов) – посредством реализации целого ряда проектов по созданию искусственного мозга на базе мощных компьютеров и/или кремниевых чипов.

Одна из наиболее полных и последовательных моделей работы мозга на нейронном уровне описана в [11]. Мозг и происходящие в нем процессы разбиваются на пять иерархически взаимосвязанных уровней. На нижнем уровне рассматривается работа

одиночных нейронов. В результате взаимодействия нейронов возникают их объединения и процессы высших уровней. Показано, что динамика процессов в такой искусственной нейросети отражает целый ряд характеристик процессов, происходящих в реальном мозгу: устойчивость, переходы между состояниями, память и др.

В настоящее время реализован целый ряд проектов по созданию искусственного мозга. Как правило, в этих проектах с высокой степенью детализации моделируются процессы лишь в очень небольшом участке мозга [13]. В этой же работе отмечается, что моделирование работы целого мозга пока невозможно не только вследствие недостаточной вычислительной мощности, но прежде всего из-за непонимания того, каким образом мозг реализует свои высокоуровневые функции.

С этой точки зрения показательно, что в настоящее время мы не можем достаточно адекватно моделировать работу мозга даже намного более простых, чем человек, существ. Одним из модельных и широко изученных организмов является червь Caenorhabditis elegans, нервная система которого содержит всего 302 нейрона и около 5000 синапсов. И, тем не менее, в [14] отмечается, что полная и непротиворечивая модель картины нервных возбуждений для этого червя еще не создана! Мозг человека содержит намного выше элементов, чем у данного червя. Нейронов – более чем в 10^8 раз, а синапсов – более чем 10^{11} раз. Но этим различия между мозгом человека и червя не исчерпываются, поскольку у человека взаимодействие нейронов организовано гораздо сложнее, чем у червя. В частности, повышается количество нейромедиаторов; усложняются синапсы; гораздо больше размеры генетического кода, ответственного за запуск процессов в клетках; появляются более высокие уровни иерархии в процессах и др. [9].

Проведенный анализ показывает, что, несмотря на заметные успехи в понимании и моделировании низкоуровневых процессов мозга, суть высокоуровневых процессов пока не понята (по крайней мере, с точки зрения нейрофизиологических процессов, происходящих в мозгу). Ситуация с моделированием работы простейших нервных систем показывает, что недостаточно просто взять набор неких вычислительных элементов, запустить в нем процессы передачи импульсов, законы их обработки, и на этой основе получить высокоуровневые процессы типа мышления, понимания, сознания и т.п. Компьютерные модели современного уровня неспособны автоматически генерировать эти высокоуровневые процессы. И дело прежде всего не в недостатке вычислительной мощности современных компьютеров, а в недостатке идей относительно того, каким образом организуются эти высокоуровневые процессы.

Актуальные направления развития нейросетей

Представляется, что ключевой источник проблем в исследовании мозга, нейросетей и искусственного интеллекта формируется на общеметодологическом уровне. Наглядно это можно представить в виде следующих рисунков.

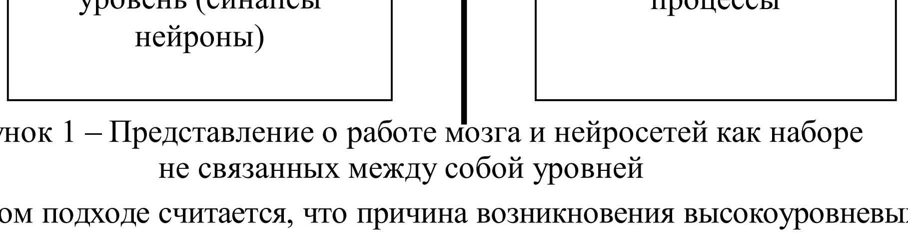


Рисунок 1 – Представление о работе мозга и нейросетей как наборе не связанных между собой уровней

При таком подходе считается, что причина возникновения высокоуровневых процессов, – другие, более простые процессы, различного рода амплитудные и фазовые соотношения между этими более простыми процессами, математические сложные эф-

фекты типа бифуркаций и аттракторов и т.п. Целенаправленная перестройка структуры синапсов (но не амплитуд сигналов в них) для реализации высокоуровневых процессов отрицается. Если же кто-то из специалистов по нейросетям скажет, что это не так, то пусть приведет пример, где бы целенаправленно менялась (на уровне модели или искусственной реализации) структура синапса, с целью получения понимания, мышления или сознания.

В результате такого подхода и возникает идеология дуализма физического и психического, отрицание сознания как реально существующей сущности, принижение роли мышления и т.п. Представляется, что все эти проблемы имеют такое же самое происхождение, что и апории Зенона (в частности, в апории «Стрела» Зенон показывает, что стрела одновременно движется и не движется), – представление задачи (предметной области) недопустимо упрощается, и из нее выбрасывается инструментарий, необходимый для решения задачи. В случае моделирования мозга к такому выброшенному инструментарию относится изменение структуры синапсов, обеспечивающее возникновение высокоуровневых процессов. Эту же мысль можно высказать и несколько иначе: *для понимания высокоуровневых процессов мозга недопустима декомпозиция на нейрофизиологическое и психическое.* В полной мере ситуацию описывает и приведенный к статье эпиграф.

Для того чтобы избавиться от всяких видов дуализма и проблем с существованием, необходимо перейти к следующим представлениям, носящим парадигмальный характер (рис. 2.).

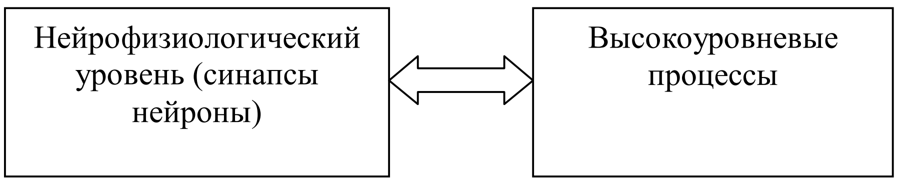


Рисунок 2 – Представление о работе мозга и нейросетей как иерархии взаимосвязанных уровней

При таком подходе возникновение в процессе эволюции более высоких форм психики должно объясняться на основании двух тесно взаимосвязанных и взаимообусловливающих тенденций:

– усложнение структуры мозга, включая структуру отдельного синапса, структуру дендритных деревьев и структуру нейронов;

– усложнение процессов обработки информации; возможность такого усложнения появляется в результате усложнения структуры.

Собственно, этот вывод не является совершенно оригинальным. Его можно рассматривать как более четкую формулировку в отношении нейросетей идей У. Матураны и Ф. Варелы об аутопоэзисе, а также идеологии «воплощенного мышления» (embodiment mind).

Изложенные результаты показывают, что при моделировании высокоуровневых процессов с помощью искусственных нейросетей необходимо:

1) заранее искать, каким образом необходимо изменить структуру нейросети на уровне синапсов и других элементов (дендритных деревьев, «малых миров» и т.д.) для того, чтобы получить высокоуровневые процессы;

2) заложить адекватный механизм обратного влияния высокоуровневых процессов как некоторых целостностей на структуру нейросети с целью обучения, запоминания и т.п. эффектов;

3) на основании изучения высокоуровневых процессов в мозгу живых существ разобраться, в результате чего эти процессы возникают и как они влияют на структуру мозга.

Предложенные меры представляются необходимыми для моделирования высокоуровневых процессов, но они могут оказаться недостаточными, поскольку мозг является более тесно взаимосвязанной системой, чем это обычно принято представлять. Для наглядности представим следующую ситуацию: вначале возбуждается любой, произвольно взятый нейрон мозга. С помощью аксона он возбуждает потенциал в нескольких десятках тысяч синапсов, связанных с данным нейроном. Эти синапсы находятся в цепях возбуждения других нейронов, групп нейронов и областей мозга. Конечно, таких цепей будет значительно меньше, чем синапсов у одного нейрона, но, тем не менее, их количество может быть достаточно большим – от десятков до нескольких тысяч. Получается, что *один нейрон в одно и то же время, в одном и том же возбуждении импульса участвует в работе различных цепей и связанных с этими цепями процессов.* В итоге состояния мозга являются перепутанными (entanglement), также как и в квантовой механике [15]. Без специальных исследований невозможно сказать, насколько далеко заходят аналогии между работой мозга и квантовой механикой. Но ясно, что процессы мозга являются очень сильно взаимосвязанными. И с этой точки мозг является сильно связанной иерархической системой. Общей теории таких систем в настоящее время не существует (опять же, если не принимать во внимание кварки и аналогичные частицы в физике), поэтому для понимания работы мозга как нейросети и адекватном моделировании работы этой нейросети необходимы исследования и в этом направлении.

Литература

1. Haykin S. Neural Networks. A Comprehensive Foundation – Prentice Hall / Haykin S. – 1999. – 823 p.
2. Сторож В.В. Актуальные направления исследований интеллекта и мышления / В.В. Сторож // Искусственный интеллект – 2013. – № 3.
3. White J.G. The Structure of the Nervous System of the Nematode *Caenorhabditis Elegans /* J.G. White, E. Southgate, J.N Thomson, S. Brenner // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences. – 1986. – № 314 (1165). – P. 1-340.
4. Ed. Technau G.M. Brain Development in *Drosophila melanogaster* / Ed. Technau G.M. – Springer Science+Business Media, LLC. – 2008. – 172 p.
5. Menzel R. Cognitive architecture of a mini-brain: the honeybee / R. Menzel, M. Giurfa // Trends Cogn. – February 2001. – Sci. 5 (2). – P. 62.
6. Williams Robert W. Mapping Genes that Modulate Mouse Brain Development : A Quantitative Genetic Approach / W. Williams Robert // In : Mouse brain development (Goffinet AF, Rakic P, eds). – New York : Springer Verlag, 2000. – P. 21-49.
7. Azevedo F.A.C. Ea Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain / F.A.C. Azevedo // The Journal of Comparative Neurology. – 2009 . – № 513. – P. 532-541.
8. Fuster J.M. The Prefrontal Cortex / Fuster J.M. – Elsevier – Amsterdam, 2008. – 425 p.
9. Ed. Kaas J.H. Evolution of Nervous System : A Comprehensive Reference / Ed. Kaas J.H. – Elsevier, 2007. – Vol. 1-4.
10. Mountcastle V.B. The columnar organization of the neocortex / V.B. Mountcastle // Brain. – 1997. – V. 120. – P. 701-722.
11. Kozma R. Neurodynamics of Intentional Behavior Generation / Eds. L.I. Perlovsky and R. Kozma // Neurodynamics of Cognition and Consciousness. – Springer. – 2007. – P. 131-162.
12. Kraft E. Neural Correlates of Thinking / Eds. Kraft E., Gulyas B., Poppel E. – Springer – Verlag – Berlin Heidelberg. – 2009. – 287 p.
13. Markram H. The blue brain project / H. Markram // Nature Reviews Neuroscience. – 2006. – Vol. 7. – P. 153-160.
14. Varshney L.R. Structural properties of the *Caenorhabditis elegans* neuronal network / Varshney L.R. et. al // PLoS Computational Biology – 2011. – V. 7, № 2. – P. 1-21.

15. Bouwmeester D. The Physics of Quantum Information / Eds. Bouwmeester D., Ekert A., Zeilinger A. – Springer – Berlin – Heidelberg. – 2000. – 326 p.
16. Sporns O. Networks of the Brain / Sporns O. –Massachusetts : The MIT Press – Cambridge, 2011. – 433 p.

Literatura

1. Haykin S. Neural Networks. A Comprehensive Foundation – Prentice Hall. – 1999. 823 p.
2. Storozh V.V. Actual directions of researches of intelligence and mind//Iskusstvennyi intellect–2013. - № 3.
3. White J.G; E. Southgate, J.N Thomson, S. Brenner The Structure of the Nervous System of the Nematode *Caenorhabditis Elegans*// Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences – 1986. - 314 (1165): 1–340.
4. Brain Development in *Drosophila melanogaster* / Ed. Technau G.M. – Springer Science+Business Media, LLC – 2008. – 172 p.
5. Menzel R, Giurfa M (February 2001). «Cognitive architecture of a mini-brain: the honeybee». Trends Cogn. Sci. 5 (2): 62.
6. Williams, Robert W. Mapping Genes that Modulate Mouse Brain Development: A Quantitative Genetic Approach - In: Mouse brain development (Goffinet AF, Rakic P, eds), Springer Verlag, New York, 2000. – p. 21-49.
7. Azevedo F.A.C. ea Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain // The Journal of Comparative Neurology – 2009 . – № 513. – P. 532-541.
8. Fuster J.M. The Prefrontal Cortex – Elsevier – Amsterdam – 2008. – 425 p.
9. Evolution of Nervous System : A Comprehensive Reference – Ed. Kaas J.H. – Elsevier – 2007. – Vol. 1-4.
10. Mountcastle V.B. The columnar organization of the neocortex // Brain – 1997. – V.120. – P. 701-722.
11. Kozma R. Neurodynamics of Intentional Behavior Generation / Neurodynamics of Cognition and Consciousness – Eds. Perlovsky L.I. and Kozma R. – Springer – 2007. – P.131-162.
12. Neural Correlates of Thinking / Eds. Kraft E., Gulyas B., Poppel E. – Springer-Verlag – Berlin Heidelberg. – 2009. – 287 p.
13. Markram H. The blue brain project // Nature Reviews Neuroscience – 2006. – Vol. 7. – P. 153-160.
14. Varshney L.R. et. al Structural properties of the *Caenorhabditis elegans* neuronal network // PLoS Computational Biology – 2011. – V. 7, № 2. – P. 1-21.
15. The Physics of Quantum Information / Eds. Bouwmeester D., Ekert A., Zeilinger A. – Springer – Berlin-Heidelberg. – 2000. – 326 p.
16. Sporns O. Networks of the Brain – The MIT Press – Cambridge, Massachusetts – 2011. – 433 p.

RESUME

V.V. Storozh

Brain and Artificial Neural Network

In work possibilities artificial neural networks for modeling of the processes occurring in a human brain are considered. On the basis of this consideration the conclusion that the ideology of creation existing now neural networks does not allow to reproduce high-level processes of a brain, in particular, such as understanding, thinking and consciousness is drawn.

The thesis that for understanding of high-level processes of a brain decomposition on neurophysiologic and mental is inadmissible is justified. Practical implementation of this thesis means that at modeling of high-level processes with the help neural network it is necessary:

– in advance to search, how it is necessary to change structure neural networks at level of synapses and other elements (dendritic trees, «the small worlds» etc.) to receive high-level processes;

– to put the adequate mechanism of reverse influence of high-level processes as some integrity on structure neural network on purpose learning, reminders, etc. effects;

– on the basis of learning to understand, therefore high-level processes arise in a brain and as they influence its structure.

Статья поступила в редакцию 10.07.2013.